

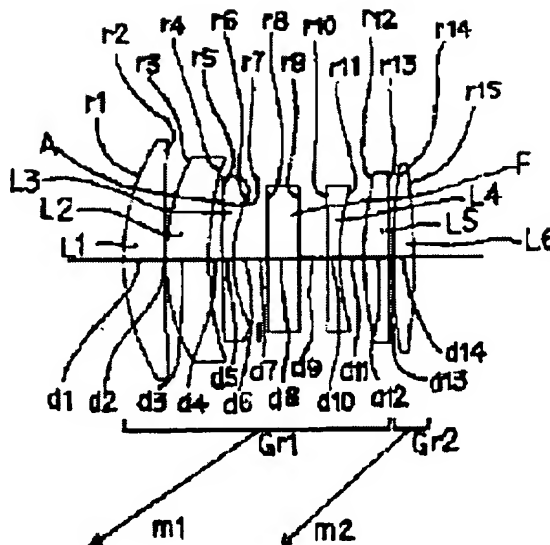
PHOTOGRAPHING LENS SYSTEM

Patent number: JP9236740
Publication date: 1997-09-09
Inventor: KUDO YOSHINOBU
Applicant: MINOLTA CO LTD
Classification:
- international: G02B13/00; G02B13/00; (IPC1-7): G02B13/00
- european:
Application number: JP19960043276 19960229
Priority number(s): JP19960043276 19960229

Report a data error here

Abstract of JP9236740

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a practical photographing lens system whose focus deviating image is improved over the wide range of photographing distances from infinity to the closest range. **SOLUTION:** This lens system is composed, in order from the object side, of a first group Gr1; composed of a first positive meniscus lens L1 whose convex surface confronts the object side, a second positive meniscus lens L2 whose convex surface confronts the object side, a third negative meniscus lens L3 whose convex surface confronts the object side, a diaphragm A, an apodization filter F, a fourth lens L4 of biconcave shape and a fifth lens L5 of biconvex shape; and a second group Gr2 composed of a sixth lens L6 of biconvex shape. m1, m2 typically represent the movement of the first group and the second group at the time of focusing from a focusing state at infinity to a focusing state at the closest photographing distance. The photographing lens system performs aberration correction at a close distance by moving the whole system while widening an interval d13 between the first group Gr1 and the second group Gr2 at the time of focusing from the focusing state at infinity to the focusing state at the close range.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-236740

(43) 公開日 平成9年(1997)9月9日

(51) Int.Cl.⁶
G 0 2 B 13/00

識別記号 庁内整理番号

F I
G 0 2 B 13/00

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平8-43276

(22) 出願日 平成8年(1996)2月29日

(71) 出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際ビル

(72) 発明者 工藤 吉信

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪

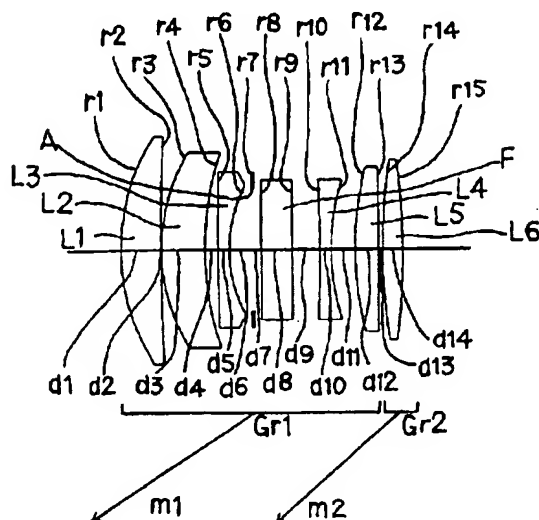
国際ビル ミノルタ株式会社内

(54) 【発明の名称】 撮影レンズ系

(57) 【要約】

【課題】 撮影距離が無限遠から近接までの広い範囲にわたって、焦点はずれ像が改良された実用的な撮影レンズ系を提供する。

【解決手段】 物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メネスカス形状の第1レンズL1、物体側に凸面を向けた正メネスカス形状の第2レンズL2、物体側に凸面を向けた負メネスカス形状の第3レンズL3、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、両凹形状の第4レンズL4、両凸形状の第5レンズL5からなる第1群Gr1と、両凸形状の第6レンズL6からなる第2群Gr2と、から構成される。m1、m2は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際の第1群及び第2群の移動を模式的に表している。この撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔d13を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行う。



(2)

特開平9-236740

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のレンズ群と、前記複数のレンズ群のいずれかに配置された絞りと、前記絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターと、を有する撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、少なくとも1つのレンズ群間隔を変化させながら全系を物体側に移動させることを特徴とする撮影レンズ系。

【請求項2】 物体側から順に、第1群と、第2群と、からなり、前記第1群に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を広げながら、全系を物体側に移動させることを特徴とする撮影レンズ系。

【請求項3】 物体側から順に、第1群と、第2群と、第3群と、からなり、前記第1群あるいは前記第2群のいずれか一方に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を狭め、前記第2群と前記第3群との間隔を広げながら、全系を物体側に移動させることを特徴とする撮影レンズ系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、撮影レンズ系、さらに詳しくはカメラの撮影レンズとして好適な、近接距離収差補正（いわゆるフローティング）機構を有する撮影レンズ系に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、撮影レンズ系の性能は、焦点面での結像性能により評価されている。このため従来より、撮影レンズ系では、結像性能を向上させるべく諸収差の補正に関して数多くの提案が行われている。

【0003】しかしながら、カメラの撮影レンズとして使用される撮影レンズ系の場合、結像性能だけでなく、焦点はずれ像の見え方も非常に重要である。例えば、画像の中心に人物を配したポートレート写真や近接撮影された花の写真等では、主要な被写体以外の背景となる部分の焦点はずれ像の見え方により写真画像の印象が大きく左右されることになる。

【0004】このような焦点はずれ像の見え方としては、例えば、ポートレート写真における頭髪を例にした場合、頭髪がススキの穂のように幅広くボケる状態、1本の頭髪が2本あるかのようにボケる状態（2線ボケとも呼ばれる）、頭髪の芯を残しつつ全体にふわりとボケ

る状態など様々な状態が知られているが、3番目に示した全体にふわりとボケる状態が良好であるとされている。

【0005】特に、撮影倍率が $1/4 \sim 1/2$ 程度のマクロレンズを用いて、近接被写体を撮影する場合、主要な被写体以外の背景は、ほとんどの場合焦点はずれ像となるので、焦点はずれ像の見え方は特に重要である。

【0006】焦点はずれ像の改良を目的としたレンズ系としては、米国特許3,843,235号公報に、光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って次第に透過光量が減少するように構成されたフィルター（アボダイゼーションフィルター）を配置したレンズ系が提案されており、物体側から順に、両凸レンズ、両凹レンズ、絞り、アボダイゼーションフィルター、両凸レンズから成るトリプレット構成のレンズ系の例が開示されている。この公報に記載されたレンズ系によれば、アボダイゼーションフィルターにより焦点はずれ像の強度分布が改変（以下、このような効果をアボダイゼーションという）されて、焦点はずれ像が改良されるとしている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記公報に記載されたレンズ系は、無限遠合焦状態の焦点はずれ像の改良の効果を提案しているものの、アボダイゼーションフィルターを有する構成において、フォーカシングの際のレンズ群の移動については提案されていない。

【0008】本発明は、上記課題に鑑み、撮影距離が無限遠から近接までの広い範囲にわたって、焦点はずれ像が改良された撮影レンズ系を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の撮影レンズ系は、複数のレンズ群と、前記複数のレンズ群のいずれかに配置された絞りと、前記絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターと、を有する撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、少なくとも1つのレンズ群間隔を変化させながら全系を物体側に移動させることを特徴とする。

【0010】また、請求項2記載の撮影レンズ系は、物体側から順に、第1群と、第2群と、からなり、前記第1群に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を広げながら、全系を物体側に移動させることを特徴とする。

【0011】また、請求項3記載の撮影レンズ系は、物体側から順に、第1群と、第2群と、第3群と、からなり、前記第1群あるいは前記第2群のいずれか一方に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、無限遠合焦状

(3)

特開平9-236740

態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を狭め、前記第2群と前記第3群との間隔を広げながら、全系を物体側へ移動させることを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施した撮影レンズ系を図面を参照しつつ説明する。

【実施形態の撮影レンズ系のレンズ配置】図1～図5は、第1～5の実施形態の撮影レンズ系のレンズ構成図に対応し、無限遠合焦状態でのレンズ配置を示している。第1～第5実施形態の撮影レンズ系は、何れもレンズ群中に後述するアボダイゼーションフィルターを配置し、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、少なくとも1つのレンズ群間隔を変化させながら全系を物体側へ移動させる近距離収差補正、いわゆるフローティングを行う撮影レンズ系である。図1～図5に示した矢印 $m_1 \sim m_3$ は、図示の無限遠合焦状態から最近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際の、各レンズ群の移動の様子を模式的に示したものである。

【0013】第1の実施形態の撮影レンズ系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第1レンズL1、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第2レンズL2、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第3レンズL3、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、両凹形状の第4レンズL4、両凸形状の第5レンズL5からなる第1群Gr1と、両凸形状の第6レンズL6からなる第2群Gr2と、から構成される。第1の実施形態の撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔(図1では軸上面間隔 d_1 3に対応)を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行っている。

【0014】第2の実施形態の撮影レンズ系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第1レンズL1、両凸形状の第2レンズL2、両凹形状で物体側面を第2レンズL2の像側と接合してなる第3レンズL3、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第4レンズL4、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第5レンズL5、両凸形状の第6レンズL6からなる第1群Gr1と、両凸形状の第7レンズL7からなる第2群Gr2と、から構成される。第2の実施形態の撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔(図2では軸上面間隔 d_1 4に対応)を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行っている。

【0015】第3の実施形態の撮影レンズ系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第

1レンズL1、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第2レンズL2、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第3レンズL3からなる第1群Gr1と、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、両凹形状の第4レンズL4、両凸形状の第5レンズL5からなる第2群Gr2と、両凸形状の第6レンズL6からなる第3群Gr3と、から構成される。第3の実施形態の撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔(図3では軸上面間隔 d_6 に対応)を狭め、かつ第2群Gr2と第3群Gr3との間隔(図3では軸上面間隔 d_1 3に対応)を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行っている。

【0016】第4の実施形態の撮影レンズ系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第1レンズL1、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第2レンズL2、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第3レンズL3からなる第1群Gr1と、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、両凹形状の第4レンズL4、両凸形状の第5レンズL5、両凸形状の第6レンズL6からなる第2群Gr2と、両凹形状の第7レンズL7、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第8レンズL8、両凸形状の第9レンズL9からなる第3群Gr3と、から構成される。第4の実施形態の撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔(図4では軸上面間隔 d_6 に対応)を狭め、かつ第2群Gr2と第3群Gr3との間隔(図4では軸上面間隔 d_1 5に対応)を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行っている。

【0017】第5の実施形態の撮影レンズ系は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第1レンズL1、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状の第2レンズL2、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第3レンズL3、絞りA、後述するアボダイゼーションフィルターF、両凹形状の第4レンズL4、両凸形状の第5レンズL5、両凸形状の第6レンズL6からなる第1群Gr1と、両凹形状の第7レンズL7、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第8レンズL8、両凸形状の第9レンズL9からなる第2群Gr2と、から構成される。第5の実施形態の撮影レンズ系は、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へフォーカシングする際、第1群Gr1と第2群Gr2との間隔(図5では軸上面間隔 d_1 5に対応)を広げながら全系を物体側へ移動させて、近距離収差補正を行っている。

【0018】上記各実施形態は、いずれも撮影レンズ系中にアボダイゼーションフィルターを配置している。なお、アボダイゼーションフィルターは、各図において、1枚の平板として図示している。このアボダイゼーションフィルターの詳細な構成については後述する。

(4)

特開平9-236740

【0019】近接被写体に対する結像状態では、絞りより像側の正のレンズ群へ入射する軸上光束の入射高が高くなり、球面収差が大きくアンダーになる傾向がある。また、軸外光束は無限遠合焦状態の場合よりも各レンズ群の光軸近傍の低い位置を通過するため、外方性のコマ収差を発生させる。

【0020】これらの近接被写体に対する結像状態に特有の諸収差を補正するためには、適切な軸上面間隔を補正してフローティングを行い、近接撮影距離で発生する収差の変動を抑制する必要がある。

【0021】上記第1、第2及び第5の実施形態の撮影レンズ系では、物体側から順に、第1群と、第2群と、からなり、前記第1群に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系において、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を広げるフローティング機構を採用している。

【0022】このような、フローティング機構を採用することにより、アボダイゼーションフィルターを有する撮影レンズ系においても、近接撮影距離で発生する収差を良好に補正することができ、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態の広い範囲にわたって、焦点はずれ像が改良された実用的な撮影レンズ系を実現することができる。

【0023】また、上記第3及び第4の実施形態の撮影レンズ系では、物体側から順に、第1群と、第2群と、第3群と、からなり、第2群の最も物体側に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系において、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔を狭め、前記第2群と前記第3群との間隔を広げるフローティング機構を採用している。

【0024】このような、フローティング機構を採用することにより、先の各実施形態の場合と同様に、アボダイゼーションフィルターを有する撮影レンズ系においても、近接撮影距離で発生する収差を良好に補正することができ、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態の広い範囲にわたって、焦点はずれ像が改良された撮影レンズ系を実現することができる。

【0025】また、この第3及び第4の実施形態の撮影レンズ系は、3群構成であるため、2群構成の第1、第2及び第5の実施形態の撮影レンズ系よりも、より高い倍率まで、近距離収差を補正することができる。そのため、2群構成の場合よりも撮影倍率が大きい領域においても使用することができる。

【0026】なお、第3及び第4の実施形態は、アボダイゼーションフィルターを、いずれも第2群に配置した実施形態であるが、アボダイゼーションフィルターを第1群に配置しても、同一の効果を得ることができる。

【0027】〔焦点はずれ像改良方法の原理〕次に、焦点はずれ像改良の原理について図面を参照して説明する。図6は、焦点はずれ像の説明を行うための模式図である。図6において、Pは点光源、Lは光軸対称の円形開口を有する無収差のレンズ系Lを示している。点光源Pは、レンズ系Lにより、共役な焦点面で点像P'を形成する。また、焦点面から光軸方向にΔだけ離れた面Sでは、大きさのある焦点はずれ像P''を形成する。

【0028】なお、実際の撮影の際の結像関係は、点光源Pとレンズ系Lとの距離が変化することにより、像面上の点像P'が焦点はずれ像P''となるが、以下の説明では、簡単のために点光源Pの光軸上の位置を固定し、点像P'を含む焦点面に対して平行な面Sにおける焦点はずれ像P''について議論することとする。

【0029】レンズ系Lの開口の透過率分布が一定である場合、すなわち、図7に示すように光軸から開口の有効半径h1までの範囲で透過率 $\tau(h)$ が一定値である場合には、像面S上での点光源Pの像P''は強度が一様である錯乱円となる。

【0030】一方、レンズ系Lの開口に、図8に示すような光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って透過率 $\tau(h)$ が減少し、有効半径h1で0となるような吸収を与えた場合、像面S上での点光源Pの像P''は強度分布が透過率分布と相似する円形像となる。すなわち、透過率 $\tau(h)$ が図8のような分布を有する場合、点光源Pの焦点はずれ像P''は、光軸近傍の中心が明るく、周辺にいくに従って強度が減少した像となる。

【0031】一般の被写体は、輝度の異なる点光源の集合体と考えられるため、開口の透過率 $\tau(h)$ が図8のような分布を有するレンズ系の焦点はずれ像は、中心に芯を残しつつふわりとボケることになり、良好な焦点はずれ像を得ることができる。以上が、アボダイゼーションによる焦点はずれ像の改良の原理である。

【0032】アボダイゼーションの特徴としては、その焦点はずれ像に対する効果が面Sの位置、デフォーカス量、前ボケ後ボケ、等を問わないことが挙げられる。すなわち、図6からも明らかなように、面Sがいずれの位置にあっても、点光源Pの焦点はずれ像P''は、レンズ系Lの有効径を透過するかぎり、光軸近傍の中心が明るく、周辺にいくに従って強度が減少した像となる。

【0033】さらに、アボダイゼーションによる焦点はずれ像の改良について、レスポンス関数を用いて説明する。図9は、レンズ系の開口が、以下の式(A)で表されるような一定の透過率 $\tau(h)$ を有する場合(a)と、以下の式(B)で表されるような光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って減少する透過率 $\tau(h)$ を有する場合(b)とにおいて、焦点面からΔだけ離れた面での焦点はずれ像のレスポンス関数を示すグラフである。

$$\tau(h) = 1 \cdots \cdots (A)$$

$$\tau(h) = 1 - h^2 \cdots \cdots (B)$$

(5)

特開平9-236740

また、図9のグラフにおいて、横軸は空間周波数 s 、縦軸は空間周波数 $s=0$ でレスポンスが1となるように正規化したレスポンス値を表す。

【0034】レスポンス関数は、OTF (optical transfer function) と呼ばれ、被写体のスペクトルと像のスペクトルとの間の周波数伝達特性を示すものである。焦点はずれ像のレスポンス関数は、瞳での焦点はずれによる波面収差を計算し、瞳関数を求めた後、この瞳関数から点像強度分布を求め、さらにこの点像強度分布をフーリエ変換することにより導出される。

【0035】図9のグラフからも分かるように、レンズ系の開口の透過率が一定の値である場合のレスポンス関数は、空間周波数の低周波成分において急激に減少した後、空間周波数 $s=s_1$ 近傍で一旦負の値を採り、さらに空間周波数 $s=s_2$ 近傍で正の値となる特性 (a) を示している。

【0036】一方、レンズ系の開口の透過率が光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って減少する場合のレスポンス関数は、空間周波数の低周波成分においてゆるやかに単調減少し、空間周波数 $s=s_2$ 近傍でわずかに負の値をとった後、再び正の値となる特性 (b) を示している。

【0037】一般に、空間周波数の低周波成分は像の概略構成を形成し、高周波成分は低周波成分により形成された像の概略構成を修正する作用を有する。また、レスポンス関数が負の値をとる状態は偽解像と呼ばれ、実際の画像では黒い部分が白くなり、白い部分が黒くなるネガポジ反転の現象が発生している状態に相当する。

【0038】透過率が一定である (a) の特性に基づく画像は、低周波成分の減少が大きく、像の概略構成があまり再現されていないと考えられる。また、空間周波数 $s=s_1$ 近傍の負の値となる範囲が大きいので、偽解像の状態となる空間周波数範囲が広い。さらに、高周波成分でのレスポンス関数の振動が顕著であることから、非常に不自然な像を形成しているといえる。

【0039】一方、光軸から離れるに従って透過率が減少する (b) の特性に基づく画像は、低周波成分の減少が小さく、像の概略構成がより再現されている。また、偽解像の範囲も小さく、高周波成分でのレスポンス関数の振動も小さい。

【0040】以上より、光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って透過率が減少するような開口を有するレンズ系の場合、一定の透過率の開口のレンズ系よりも、焦点はずれ像での画像の骨組みがはっきりしており、また自然にボケているといえることができる。換言す

$$\tau(h) = I(h) / I_0 = \exp(-\alpha \cdot h^2 / 2r) \cdots \cdots (G)$$

上記式 (G) は、ガウス分布を示している。図10のような平凹レンズを実際に製作した場合、上記式 (E) において、二項展開による近似を行っているため、完全なガウス分布とはならず、ガウス分布からわずかに外れた

れば、レスポンス関数が (b) の特性を有するレンズ系の焦点はずれ像は、中心に芯を残しつつふわりとボケている状態であるといえる。

【0041】このように、レスポンス関数の面からも、アボダイゼーションにより、焦点はずれ像が改良されていることが分かる。

【0042】[アボダイゼーションフィルター] 次に、アボダイゼーションフィルターについて説明する。上述した第1～第5の実施形態で使用しているアボダイゼーションフィルターは、光吸収を有する物質 (NDガラス) を使用して製作されている。

【0043】一般に、光束がレンズを透過する場合、レンズの表面反射による影響を無視すれば、透過光強度 I は以下の式 (C) で表される。

$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha t) \cdots \cdots (C)$$

ただし、

I_0 : 入射光強度、

α : 吸収係数、

t : レンズの厚さ、

である。

【0044】上記式 (C) において、吸収係数 α はレンズ媒質により決定される定数であるから、一定強度の入射光に対する透過光強度 I は、レンズの厚みのみにより決定されることになる。

【0045】この特性を利用して、光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って透過率が減少するような吸収を有するレンズを製作することができる。すなわち、図10に示すように、吸収係数 α が大きなレンズ材料を用いて、平凹形状のレンズを製作すれば、そのレンズは光軸中心から光軸と垂直な方向に離れるに従って厚みが増大するので、レンズの中心から周辺に向かって吸収を有するレンズとなる。

【0046】以下、このような、平凹形状のレンズの透過率分布を示す。図10において、レンズの凹面の曲率半径を r 、光軸から高さ h でのレンズの厚みを t とすれば、厚み t は幾何学的な計算から以下の式 (D) で表される。

$$t = r - \sqrt{r^2 - h^2} \cdots \cdots (D)$$

上記式において、 r と比較して h が小さいとして二項展開すれば、厚さ t は、以下の式 (E) に近似できる。

$$t \approx h^2 / 2r \cdots \cdots (E)$$

これを (C) 式に代入すれば、以下の式 (F) を得る。

$$I(h) = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot h^2 / 2r) \cdots \cdots (F)$$

透過率 $\tau(h)$ は、入射光強度 I_0 と透過光強度 I との比であるから、以下の式 (G) 得る。

$$\tau(h) = I(h) / I_0 = \exp(-\alpha \cdot h^2 / 2r) \cdots \cdots (G)$$

略ガウス分布となる。すなわち、図10のような平凹形状のレンズを、吸収係数 α の媒質で作成すれば、透過率 $\tau(h)$ は略ガウス分布となることがわかる。

【0047】図6において、レンズ系 L の透過率 $\tau(h)$

(6)

特開平9-236740

が略ガウス分布である場合、前述したように面Sに形成される点光源Pの焦点はずれ像P'の強度分布も、透過率分布と相似した略ガウス分布となる。

【0048】ところで、ガウス分布のフーリエ変換は負の値を持たないことが知られている。したがって、ガウス分布である焦点はずれ像P'の点像強度分布をフーリエ変換したレスポンス関数は、正の値のみを有することになる。

【0049】上述の平凹レンズは、略ガウス分布の透過率を有しているため、この平凹レンズを含むレンズ系においては、焦点はずれ像のレスポンス関数は正の値を採る部分が大部分となり、偽解像が発生する空間周波数の範囲が非常に小さい。また、レスポンス関数も単調減少となることから、自然な焦点はずれ像を得ることができる。

【0050】以上のように、NDガラスを使用することにより、アボダイゼーションの効果を得ることができる。しかしながら、(G)式からも分かるように、透過率 τ (h)は平凹形状のレンズの凹面の曲率半径の関数であるため、所望の透過率分布を得るためには曲率半径の値は、制限されてしまう。このことは、光学系の設計上の自由度を大きく制限する

《アボダイゼーションフィルター》

【曲率半径】	【軸上面間隔】	【屈折率】	【アッベ数】	【吸収係数】
R1 ∞				
	T1 0.35	N1 1.507	$\nu 1$ 59.0	α 0.55
R2 20.5				
	T2 9.28	N2 1.507	$\nu 2$ 59.0	---
R3 ∞				

【0054】なお、アボダイゼーションフィルターは、上記構成の他に、透明ガラス平板に所定の分布を有するように吸収物質を蒸着したり、透明ガラス平板に感光材料を塗布して所定の濃度となるように露光したりすることによっても得ることができる。これらの方法で作成されたアボダイゼーションフィルターは、フィルターの厚みを薄くすることができるというメリットを有している。しかしながら、これらの方法により作成されたアボダイゼーションフィルターは、吸収物質及び感光材料の膜圧が透過率分布に従って入射高によって異なるため光束の位相変化が発生するという欠点がある。また、光束は吸収物質及び感光材料により散乱されたり、反射されたりする問題も発生する。

【0055】【撮影レンズ系が満足すべき条件】次に、本発明にかかる撮影レンズ系が満足すべき条件について説明する。

$$0.1 < \phi f / \phi < 2.0 \dots (1)$$

ただし、

ϕf : 第1群の屈折力、

ϕ : 全系の屈折力、

である。

【0056】条件式(1)は、物体側から順に、第1群

ことになり、好ましくない。

【0051】そこで、第1～第5の実施形態では、前述の平凹レンズの凹面と曲率半径が同じ凸面を有する平凸レンズを用いて凹面と凸面とを接合することにより、アボダイゼーションフィルターとしている。このような平凸レンズの材料は、平凹レンズと屈折率、アッベ数が同一で、ただ吸収係数のみが異なるガラスを材料とすることが望ましい。平凹レンズと平凸レンズとの屈折率、アッベ数が同一であれば、両者の接合面で光束が屈折されることがなく、アボダイゼーションフィルターは、透過率分布のみを与える平板フィルターとして取り扱うことができる。

【0052】以下の表に、アボダイゼーションフィルターを作成した実施例を示す。また、図11に実施例のアボダイゼーションフィルターの断面図を示す。図11中、アボダイゼーションフィルターは、平凹レンズ1と平凸レンズ2とを接合してなり、有効半径は15.5mmである。さらに、図12のアボダイゼーションフィルターの透過率 τ (h)の設計データのグラフを示す。

【0053】

【表1】

と、第2群と、からなり、前記第1群に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、第1群と第2群との間隔を変化させて全系を物体側に移動させるフローティングを行う撮影レンズ系において、第1群が満足すべき条件である。条件式(1)の下限値を越えると、全系の球面収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(1)の上限値を越えると、全系の球面収差が補正過剰となり望ましくない。

【0057】

$$-0.3 < \phi b / \phi < 5.0 \dots (2)$$

ただし、

ϕb : 第2群の屈折力、

である。

【0058】条件式(2)は、第1群が前記条件式(1)を満足する条件下で、第2群が満足すべき条件である。条件式(2)の下限値を越えると、全系の球面収差が補正過剰となるとともにコマ収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(2)の上限値を越えると、球面収差が補正不足となるとともにコマ収差が補正過剰となり望ましくない。

【0059】

(7)

特開平9-236740

$$1.01 < I_f / I_b < 3.00 \dots (3)$$

ただし、

I_f : 第1群の無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の移動量、

I_b : 第2群の無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の移動量、

である。

【0060】条件式(3)は、前記条件式(1)及び(2)を満足する条件下で、全系の外方性コマ収差を補正するために満足すべき条件である。条件式(3)の下限値を越えると、全系において、外方性コマ収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(3)の上限値を越えると、外方性コマ収差の補正効果が強くなりすぎ、他の収差補正に対するバランスが崩れて、他の収差を悪化させ望ましくない。また、条件式(3)の上限値を越えると、レンズ全長が大きくなりすぎるとともに、周辺光量を確保するためにレンズ外径を大きくしなければならぬ望ましくない。

【0061】

$$0.5 < \phi_1 / \phi < 1.5 \dots (4)$$

ただし、

ϕ_1 : 第1群の屈折力、

である。

【0062】条件式(4)は、物体側から順に、第1群と、第2群と、第3群と、からなり、前記第1群あるいは前記第2群のいずれか一方に、絞りと該絞り近傍に配置されたアボダイゼーションフィルターとを備えた撮影レンズ系であって、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングに際して、前記第1群と前記第2群との間隔及び前記第2群と前記第3群との間隔を、それぞれ変化させながら全系を物体側に移動させるフローティングを行う撮影レンズ系において、第1群が満足すべき条件である。条件式(4)の下限値を越えると、全系の球面収差が補正過剰となるとともにレンズ系の全長が長くなるので望ましくない。逆に、条件式(4)の上限値を越えると、全系の球面収差が補正不足となり望ましくない。

【0063】

$$-2.0 < \phi_2 / \phi < 1.5 \dots (5)$$

ただし、

ϕ_2 : 第2群の屈折力、

である。

【0064】条件式(5)は、第1群が前記条件式

$$0.5 < (r_a - r_b) / (r_a + r_b) < 15.0 \dots (9)$$

ただし、

r_a : アボダイゼーションフィルターより像側が、両凹レンズ、正レンズ、正レンズから構成されときの両凹レンズの物体側面の曲率半径、

r_b : アボダイゼーションフィルターより像側が、両凹レンズ、正レンズ、正レンズから構成されときの両凹レ

(4)を満足する条件下で、第2群が満足すべき条件である。条件式(5)の下限値を越えると、コマ収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(5)の上限値を越えると、全系のコマ収差が補正過剰となるとともに、フローティング量が大きくなり全系が大型化してしまうため望ましくない。

【0065】

$$-0.5 < \phi_3 / \phi < 3.0 \dots (6)$$

ただし、

ϕ_3 : 第3群の屈折力、

である。

【0066】条件式(6)は、前記条件式(4)及び(5)を満足する条件下で、全系の球面収差とコマ収差とを補正するために満足すべき条件である。条件式(6)の下限値を越えると、球面収差が補正過剰となるとともにコマ収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(6)の上限値を越えると、全系の球面収差が補正不足となるとともにコマ収差が補正過剰となり望ましくない。また、条件式(6)の上限値を越えるとフローティング量も増大して、全系が大型化してしまう。

【0067】

$$1.01 < I_1 / I_3 < 2.50 \dots (7)$$

$$1.01 < I_2 / I_3 < 2.50 \dots (8)$$

ただし、

I_1 : 第1群の無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の移動量、

I_2 : 第2群の無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の移動量、

I_3 : 第3群の無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の移動量、

である。

【0068】条件式(7)及び(8)は、前記条件式(4)、(5)及び(6)を満足する条件下で、全系の外方性コマ収差を補正するために満足すべき条件である。条件式(7)及び(8)の下限値を越えると、全系において、外方性コマ収差が補正不足となり望ましくない。逆に、条件式(7)及び(8)の上限値を越えると、外方性コマ収差の補正効果が強くなりすぎ、他の収差補正に対するバランスが崩れて、他の収差を悪化させ望ましくない。また、条件式(7)及び(8)の上限値を越えると、レンズ全長が大きくなりすぎ望ましくない。

【0069】

レンズの像側面の曲率半径、

である。

【0070】条件式(9)は、アボダイゼーションフィルターを有する撮影レンズ系において、アボダイゼーションフィルターより像側が、両凹レンズ、正レンズ、正レンズから構成されときの両凹レンズのshape factor

(8)

特開平9-236740

である。条件式(9)の下限値を越えると、全系の球面収差及び像面湾曲が補正過剰となり、その補正が困難となる。逆に、上限値を越えると強い下方性コマ収差が発生し、補正困難となる。

【0071】ところで、アボダイゼーションの効果は軸外光束にまで及ぼすためには、全系の軸外光束のケラレを極力少なくすることが必要である。軸外光束のケラレを発生させないようにするためには、アボダイゼーションフィルターは、絞り近傍に配置することが望ましい。アボダイゼーションフィルターを絞りから離して配置した場合、画角の大きい軸外光束はアボダイゼーションフィルターにより一部がケラレて像面に到達してしまう。アボダイゼーションフィルターにより一部がケラレた光束の焦点はずれ像は、ケラれていない側はアボダイゼーションの効果により良好であるが、ケラレた側は従来と同様に振る舞う。この結果、非対称な焦点はずれ像が形成されることになり非常に不自然となる。

【0072】また、アボダイゼーションフィルターを有する撮影レンズ系においては、像高 y' 、最大像高 Y_{\max} としたときに、 $y'=0.5Y_{\max}$ において、像面照度8

0%以上を満足することが必要である。 $y'=0.5Y_{\max}$ において、像面照度が80%を下回ると、軸外光束に対する有効なアボダイゼーションの効果が得られないだけでなく、不自然な焦点はずれ像が発生することになり望ましくない。

【0073】

【実施例】以下、本発明にかかる撮影レンズ系を、コンストラクションデータ、収差図等を挙げて、更に具体的に示す。なお、以下に挙げる実施例1～5は、前述した第1～第5の実施形態にそれぞれ対応しており、第1～第5の実施形態を表すレンズ配置図は、対応する実施例1～5のレンズ構成をそれぞれ示している。

【0074】各実施例において、 r_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えて i 番目の面の曲率半径、 d_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えて i 番目の軸上面間隔を示し、 N_i ($i=1,2,3,\dots$)、 ν_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えて i 番目のレンズまたはフィルターの d 線に対する屈折率、アッベ数を示す。

【0075】

【表2】

《実施例1》

$f=135.0$

$FNO=2.8$

【曲率半径】	【軸上面間隔】	【屈折率】	【アッベ数】
r_1 54.492	d_1 10.001	N_1 1.72000	ν_1 50.31
r_2 591.895	d_2 0.250		
r_3 49.709	d_3 10.501	N_2 1.71700	ν_2 47.86
r_4 78.066	d_4 3.300		
r_5 676.833	d_5 2.801	N_3 1.75520	ν_3 27.51
r_6 35.170	d_6 6.000		
r_7 ∞ (絞り)	d_7 2.000		
r_8 ∞	d_8 8.000	N_4 1.51823	ν_4 58.96
r_9 ∞	d_9 7.000		
r_{10} -390.274	d_{10} 2.840	N_5 1.66755	ν_5 41.98
r_{11} 60.015	d_{11} 6.005		
r_{12} 84.000	d_{12} 6.010	N_6 1.71700	ν_6 47.86
r_{13} -906.832	d_{13} 1.000		
r_{14} 154.940	d_{14} 5.006	N_7 1.66608	ν_7 47.95
r_{15} -174.855			

【0076】

【表3】

(9)

特開平9-236740

《実施例 2》

f=135.0

FNO=2.8

【曲率半径】	【軸上面間隔】	【屈折率】	【アッベ数】
r1 74.529	d1 8.105	N1 1.74400	v1 44.93
r2 501.457	d2 0.400		
r3 58.729	d3 16.878	N2 1.62280	v2 56.88
r4 -342.594	d4 3.608	N3 1.61659	v3 36.81
r5 68.127	d5 4.912		
r6 751.659	d6 3.228	N4 1.74000	v4 28.24
r7 41.653	d7 5.400		
r8 ∞ (絞り)	d8 1.350		
r9 ∞	d9 8.000	N5 1.51823	v5 58.96
r10 ∞	d10 8.740		
r11 -39.421	d11 8.890	N6 1.71738	v6 29.50
r12 -44.979	d12 0.270		
r13 129.471	d13 6.005	N7 1.60311	v7 60.74
r14 -197.719	d14 0.300		
r15 1000.000	d15 4.000	N8 1.66608	v8 47.95
r16 -400.000			

【0077】

【表4】

《実施例 3》

f=135.0

FNO=2.8

【曲率半径】	【軸上面間隔】	【屈折率】	【アッベ数】
r1 54.303	d1 13.018	N1 1.72000	v1 52.14
r2 1157.220	d2 0.250		
r3 46.959	d3 8.022	N2 1.69350	v2 51.83
r4 102.841	d4 3.000		
r5 560.397	d5 4.025	N3 1.75520	v3 27.51
r6 35.170	d6 9.000		
r7 ∞ (絞り)	d7 2.000		
r8 ∞	d8 8.000	N4 1.51823	v4 58.96
r9 ∞	d9 7.000		
r10 -113.347	d10 2.839	N5 1.74400	v5 44.93
r11 47.730	d11 6.004		
r12 73.206	d12 6.009	N6 1.71700	v6 47.86
r13 -195.000	d13 1.000		
r14 154.940	d14 5.006	N7 1.66608	v7 47.95
r15 -174.856			

【0078】

【表5】

(10)

特開平9-236740

《実施例 4》

f=135.0

FNO=2.8

【曲率半径】		【軸上面間隔】		【屈折率】		【アッベ数】	
r1	57.222	d1	13.001	N1	1.72000	v1	52.14
r2	1463.443	d2	0.250				
r3	49.023	d3	8.000	N2	1.71300	v2	53.93
r4	110.073	d4	2.300				
r5	343.160	d5	4.000	N3	1.75690	v3	29.69
r6	35.170	d6	11.000				
r7	∞	d7	8.000	N4	1.51823	v4	58.96
r8	∞	d8	1.000				
r9	∞(絞り)	d9	7.000				
r10	-57.450	d10	2.829	N5	1.66755	v5	41.98
r11	80.714	d11	5.000				
r12	280.558	d12	5.000	N6	1.67003	v6	47.15
r13	-88.734	d13	0.230				
r14	81.658	d14	6.000	N7	1.72900	v7	53.48
r15	-195.000	d15	1.000				
r16	-1589.850	d16	2.002	N8	1.72000	v8	52.14
r17	79.868	d17	2.000				
r18	185.821	d18	3.502	N9	1.66998	v9	39.23
r19	111.926	d19	2.000				
r20	142.970	d20	5.501	N10	1.66892	v10	45.01
r21	-150.321						

【0079】

【表6】

(11)

特開平9-236740

《実施例 5》

f=100.0

FNO=2.8

【曲率半径】	【軸上面間隔】	【屈折率】	【アッペ数】
r1 48.604	d1 12.000	N1 1.72000	v1 50.31
r2 749.732	d2 0.185		
r3 37.876	d3 7.000	N2 1.72000	v2 54.71
r4 92.244	d4 2.083		
r5 250.110	d5 2.983	N3 1.75690	v3 29.69
r6 28.052	d6 8.148		
r7 ∞	d7 8.000	N4 1.51823	v4 58.96
r8 ∞	d8 1.000		
r9 ∞(絞り)	d9 5.000		
r10 -48.249	d10 2.095	N5 1.66755	v5 41.98
r11 76.499	d11 3.704		
r12 423.582	d12 4.000	N6 1.67003	v6 47.15
r13 -74.053	d13 0.170		
r14 60.477	d14 5.000	N7 1.72900	v7 53.48
r15 -144.444	d15 0.741		
r16 -1178.162	d16 1.484	N8 1.72000	v8 52.14
r17 59.160	d17 1.481		
r18 122.825	d18 2.594	N9 1.66998	v9 39.23
r19 82.907	d19 1.481		
r20 105.903	d20 5.000	N10 1.71700	v10 47.86
r21 -93.071			

【0080】また、以下の表に各実施例における、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態へのフォーカシングの際の、各レンズ群間の軸上面間隔の変化と物体側への移動量をフローティングデータとして示す。なお、最

フローティングデータ

近接倍率 β は、実施例1, 2では $\beta = 1/4$ 、実施例3～5では $\beta = 1/2$ である。

【0081】

【表7】

	群間隔変化 ($\infty \sim$ 近接)	物体側移動量		
		第1群	第2群	第3群
実施例1	d13: 1.000~9.358	41.79	33.43	-----
実施例2	d14: 0.300~11.760	38.48	26.75	-----
実施例3	d6: 9.000~6.980 d13: 1.000~9.180	40.90	42.94	34.76
実施例4	d8: 11.000~8.130 d13: 1.000~21.100	57.44	60.31	40.21
実施例5	d15: 0.741~15.194	48.18	33.72	-----

【0082】さらに、以下の表に各実施例のレンズ群の屈折力を示す。

【0083】

【表8】

(12)

特開平9-236740

レンズ群屈折力

	$\phi 1$	$\phi 2$	$\phi 3$
実施例 1	0.00277	0.00806	-----
実施例 2	0.00597	0.00233	-----
実施例 3	0.00747	-0.00878	0.00806
実施例 4	0.00700	0.00830	-0.00180
実施例 5	0.01084	-0.00012	-----

【0084】図13～図17は、それぞれ前記実施例1～5に対応する収差図である。各図中、上図は無限遠合

焦状態、下図は近接撮影距離合焦状態での収差を示し、各収差図は、左から順に、球面収差、非点収差、歪曲に対応する。球面収差図において、実線dはd線に対する球面収差、点線SCは正弦条件をそれぞれ表す。また、非点収差図において、点線DMと実線DSはメリディオナル面とサジタル面での非点収差をそれぞれ表している。

【0085】また、実施例1, 2, 5は条件式(1)～(3)、実施例3, 4は条件式(4)～(8)をそれぞれ満足する。さらに、実施例1と3は、条件式(9)も満足している。以下の表にそれぞれの条件式の値を示す。

【0086】

【表9】

各実施例の条件式の値

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5
条件式 (1)	0.37	0.80	---	---	1.46
条件式 (2)	1.09	0.31	---	---	-0.02
条件式 (3)	1.25	2.56	---	---	1.43
条件式 (4)	---	---	1.01	0.95	---
条件式 (5)	---	---	-0.91	0.85	---
条件式 (6)	---	---	1.09	-0.24	---
条件式 (7)	---	---	1.18	1.43	---
条件式 (8)	---	---	1.24	1.50	---
条件式 (9)	1.36	---	2.45	---	---

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかる撮影レンズ系によれば、無限遠合焦状態から近接撮影距離合焦状態の広い範囲にわたって、焦点はずれ像が改良された実用的な撮影レンズ系を実現することができる。

【0088】したがって、例えば本発明にかかる撮影レンズ系をカメラの撮影レンズとして適用した場合、焦点はずれ像が美しい写真画像を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の撮影レンズ系の無限遠合焦状態のレンズ配置図

【図2】実施例2の撮影レンズ系の無限遠合焦状態のレンズ配置図

【図3】実施例3の撮影レンズ系の無限遠合焦状態のレンズ配置図

【図4】実施例4の撮影レンズ系の無限遠合焦状態のレンズ配置図

【図5】実施例5の撮影レンズ系の無限遠合焦状態のレ

レンズ配置図

【図6】焦点はずれ像の改良を説明する模式図

【図7】通常の光学系の透過率分布を表すグラフ

【図8】アボダイゼーション光学系の透過率分布を表すグラフ

【図9】通常の光学系とアボダイゼーション光学系とのレスポンス関数のグラフ

【図10】アボダイゼーションフィルターの構成を説明する断面図

【図11】アボダイゼーションフィルターの一例を示す断面図

【図12】アボダイゼーションフィルターの透過率を一例を示すグラフ

【図13】実施例1の撮影レンズ系の収差図

【図14】実施例2の撮影レンズ系の収差図

【図15】実施例3の撮影レンズ系の収差図

【図16】実施例4の撮影レンズ系の収差図

【図17】実施例5の撮影レンズ系の収差図

(13)

特開平9-236740

【符号の説明】

Gr1 : 第1群

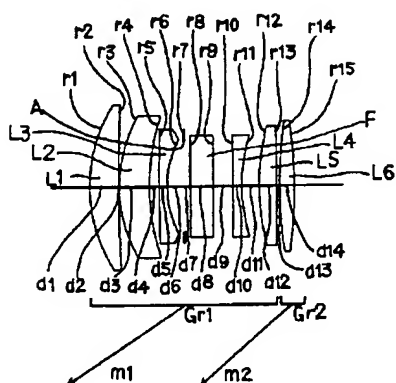
Gr2 : 第2群

Gr3 : 第3群

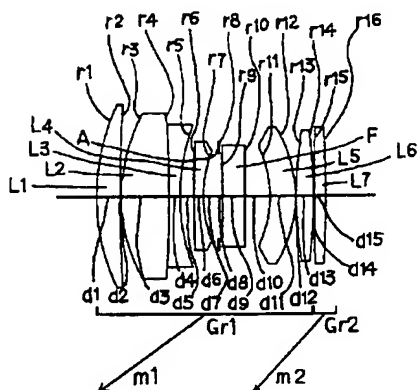
A : 絞り

F : アボダイゼーションフィルター

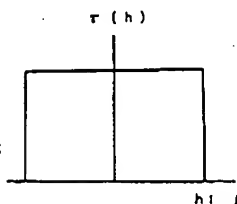
【図1】



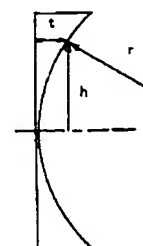
【図2】



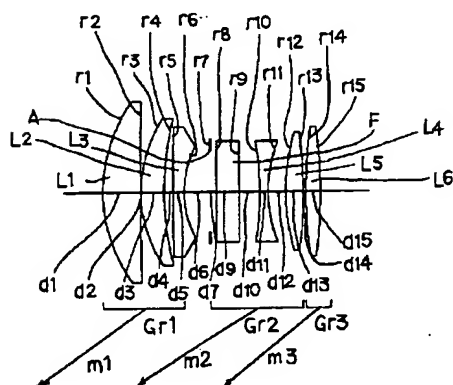
【図7】



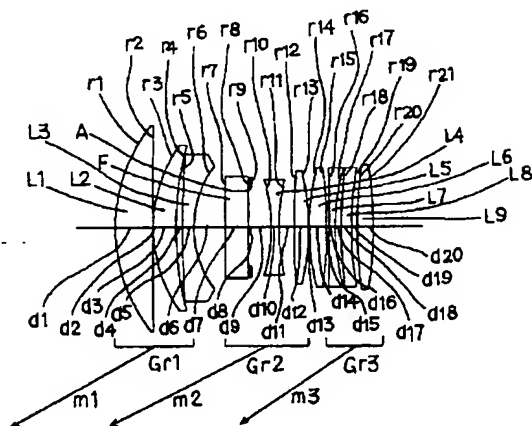
【図10】



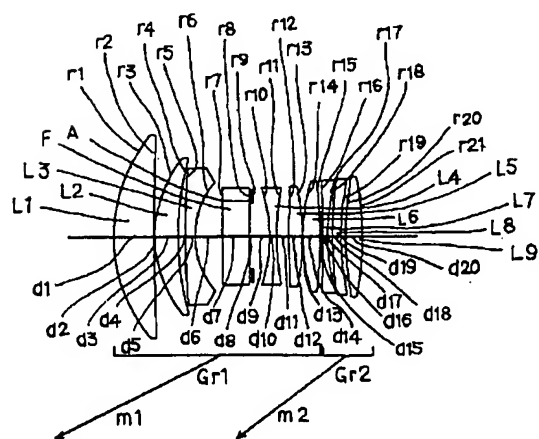
【図3】



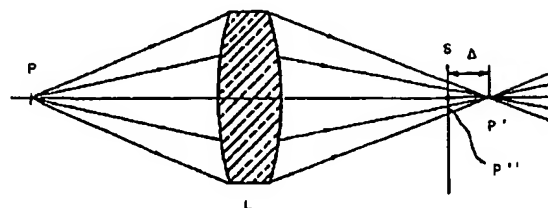
【図4】



【図5】



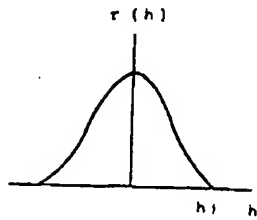
【図6】



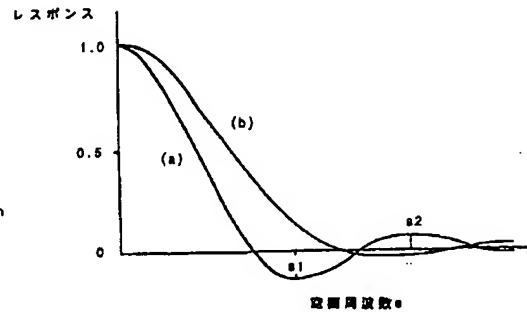
(14)

特開平9-236740

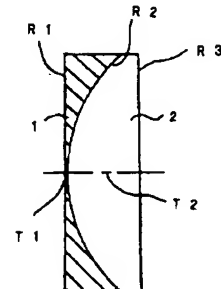
【図8】



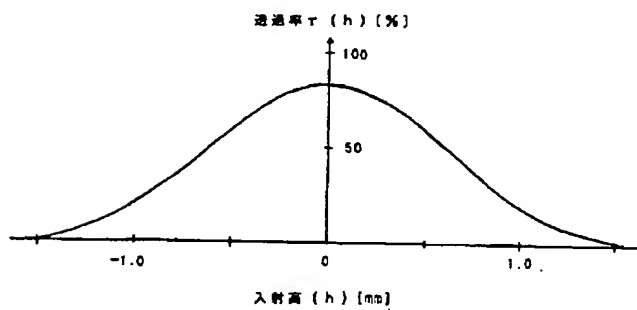
【図9】



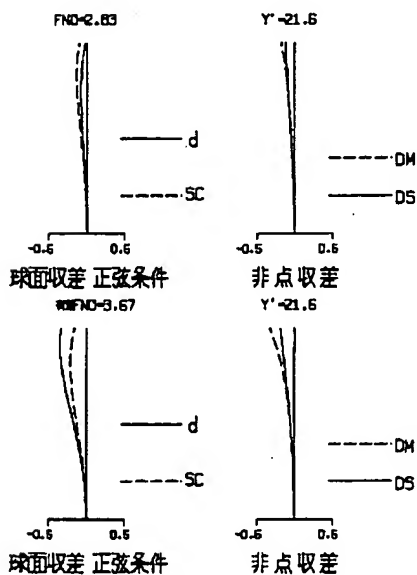
【図11】



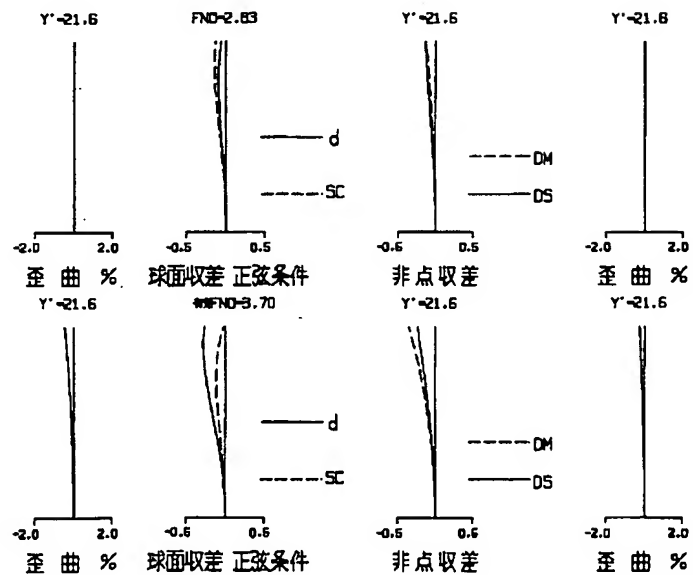
【図12】



【図13】



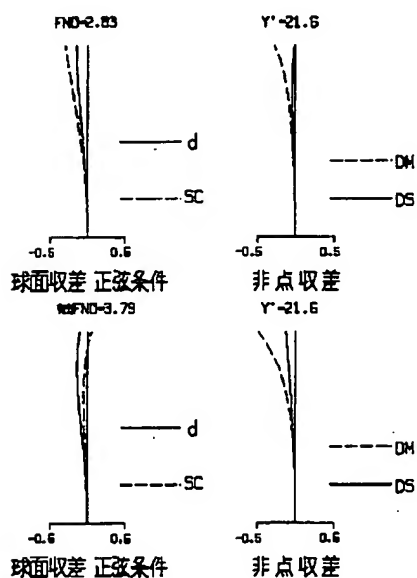
【図14】



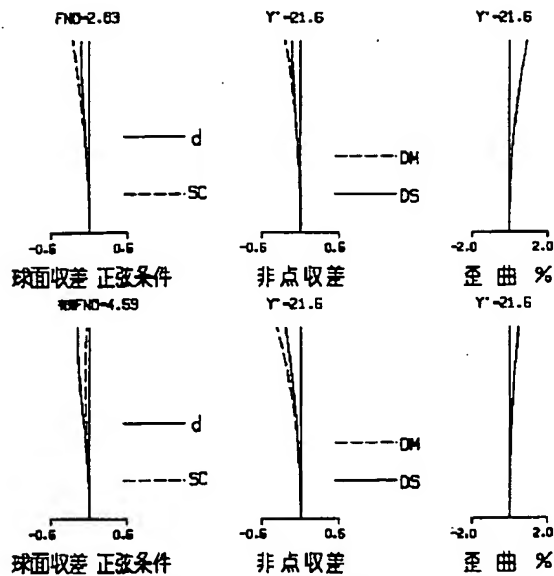
(15)

特開平9-236740

【図15】



【図16】



【図17】

